

## Trafikøkonomiske og miljømæssige konsekvenser ved havnetunnelprojektet

Ph.D.-studerende Claus Rehfeld, IFP -  
trafikstudier baggrund

Trafikøkonomiske og miljømæssige analyser af investeringer i trafikale infrastrukturer bliver som oftest gennemført med programmer der er skræddersyet til netop den foreliggende opgave eller samlet manuelt i et regneark. Problemstillingerne er ofte så forskelligartede at en rigid tilgang ikke er mulig. Dette kan skyldes at både selve planlægningsopgavens kompleksitet, men også at trafik- og konsekvensmodeller ofte er uafhængige modeller der kræver og producerer modelspecifikke data. Set fra en planlægningsvinkel er det ikke optimalt.

Dette paper introducerer kort et beslutningsstøttesystem, udviklet i forbindelse med mit Ph.D.-studium, der forholdsvis uafhængigt af kilden kan anvendes til såvel GIS-baserede som konventionelle trafikøkonomiske og miljømæssige konsekvensanalyser. Beslutningsstøttesystemet er illustreret ved hjælp af trafikøkonomiske og miljømæssige analyser på Havnetunnelprojektet. De to alternative Havnetunnelprojekter der evalueres, baserer sig på de projekter beskrevet i Transportrådets rapport "Havnetunnel i København".

### Metodemæssig tilgang

I forbindelse med mit Ph.D.-studium er udviklet et beslutningsstøttesystem som har været anvendt til de analyser der præsenteres i dette paper. Samfundsøkonomiske analyser af trafikale infrastrukturer vil ofte basere sig på varierende tilgængelighed af data, og modellens beskrivelse af virkeligheden må derfor ses i lyset af disse data. Visse modeller kan producere oversigtsmæssige værdier på baggrund af begrænset data og avancerede analyser med et højt detaljeringsniveau af data. Igen andre modeller besidder ikke denne egenskab og fungerer kun med givne niveauer af data. For at sikre en fleksibilitet der kan behandle disse forskellige niveauer, er der i beslutningsstøttesystemet åbnet mulighed for en parallelitet af modeller for samme konsekvens, miljømæssig som trafikøkonomisk.

Af den mangfoldighed af data man kan anvende til trafikplanlægning, er ikke alle hvad man kunne betegne som centrale. Visse typer af data er essentiel for alle modeltyper; trafikmængder, middelhastigheder, vejbredde, antal kørespor, etc. er eksempler på uundværlig information. Anden data er mere modelspecifik. Denne adskillelse er blevet gennemført i det udviklede beslutningsstøttesystem, således at det altid er muligt med et minimum af data at gennemføre oversigtsmæssige konsekvensanalyser.

Yderligere er der lagt vægt på uafhængighed af den underliggende trafikmodel. Denne frihed manifesterer sig indenfor bl.a. ved uafhængighed af:

- Vejnettets datamodel (Dobbeltrettede eller ensrettede links, en kombination)
- Knude datamodellen (Ensrettede linier, knuder)
- Zone datas definition
- Navnekonventioner for alle informationer
- Dataformat
- Filstrukturen

Beslutningsstøttesystemet er multi-modalt således at såvel biltrafik som kollektiv trafik kan behandles. Der er i den trafikale analyse af Havnetunnelen dog udelukkende regnet på konsekvenserne for og af biltrafikken.

#### Datagrundlag og forudsætninger

Beregningerne baserer sig på grunddata fra Ørestadsmodellen, hvis trafiknet og zoner er tilpasset til trafikmodelleringen af Havnetunnelen. Trafiknettet består af alle trafikalt betydende veje (ca. 3500 strækninger). De trafikale data er beregnet i forbindelse med Transportrådets udredning om Havnetunnelsens trafikale konsekvenser. OD-matricer og modal-split er estimeret af Tetraplan og trafikudlægningen er gennemført på Institut for Planlægning - DTU. Detaljerne i disse modeller er beskrevet andetsteds i denne konferencerapport. Trafikken er i årsdøgntrafik med tilhørende middelhastigheder. Der er ikke i modellerne indregnet lastbiler, da trafikudlægningen gennemført på IFP udelukkende har været for personbiltrafik.

#### Alternative Havnetunnelprojekter

Der er i denne sammenhæng arbejdet med resultaterne fra trafikmodellerne for år 1992 og 2000. 1992 dækker over vejnettet i Københavnsregionen i 1992, hvorimod trafikundersøgelsen er som i dag. År 2000 vejnettet svarer til Ørestadsmodellens 2000 net med tilføjelse af strækninger relevante for Havnetunnelen. Ørestaden antages delvist udbygget i år 2000. For disse to år er der regnet på fire projekter og et 'do-minimum' alternativ (se figur 1):



Figur 1 De to sut alternative Havnetunnelprojekter. 2c og 2d der fortsættes ned af en opgraderet Amager strandvej samt 4a og 4b hvor Amager strandvej trafiksaneres og Kløvermarksvej forlænges med Lossepladsvej.

Oa: 'Do-minimum' hvor vejnettet er udgangsnettet uden en Havnetunnel.

2c: 4-sporet Havnetunnel der fortsættes ad Amager Strandvej som også udvides til 4 spor.

2d: 4-sporet Havnetunnel der fortsættes ad Amager Strandvej som også udvides til 4 spor, samt trafiksanering af det centrale København. Trafiksaneringen gælder kun for år 2000.

4a: 4-sporet Havnetunnel der fortsættes ad Lossepladsvej. Amager Strandvej trafiksaneres.

4b: 4-sporet Havnetunnel der fortsættes ad Lossepladsvej. Amager Strandvej og det centrale København trafiksaneres. Trafiksaneringen gælder kun for år 2000.

Trafiksaneringen der omtales af det centrale København drejer sig om lukning og ensretning af diverse gader. Ændringerne kan læses i detalje i transportrådets rapport.

## Modeller og beregningstilgang

Til analysen af de trafikøkonomiske og miljømæssige konsekvenser af Havnetunnelen er anvendt fem modeller:

Drift og vedligehold. Dette er uden inddragelse af de ekstraomkostninger der er forbundet med at vedligeholde en tunnel. Modellen udtaler sig således udelukkende om hvorledes trafikens omfordeling influerer på de gennemsnitlige omkostninger per vejstrækning.

Kørselsomkostninger. Da der ikke har været data til rådighed angående eks. vejoverfladernes vedligeholdelsesstand er denne model en simpel beregning af den totale transportarbejde per vejstrækning per år.

Tidsforbrug. På baggrund af trafikmodellens beregninger af gennemsnitlig rejsehastighed er det totale tidsforbrug i persontimer per år beregnet for arbejdsrejser, bolig-arbejdsstedsrejser og fritidsrejser for hele nettet.

Uheld. Med baggrund i vejdirektoratets a, p parametre estimeres det forventede antal trafikuheld med personskade per strækning på hele det overordnede net per år. Der er ikke blevet estimeret på antallet af krydsuheld, da data ikke har været tilgængelige på krydsniveau.

Emissioner. Der er i denne analyse beregnet totale emissioner (kg/år) per strækning af følgende gasser og energiforbruget:

- HC
- NO<sub>x</sub>
- CO
- Energi forbruget (1 MJ - 0,071 kg CO<sub>2</sub>)

Støj og Barriereeffekt. Beslutningsstøttesystemet indeholder modeller for både barriereeffekt og støj. Disse er dog ikke blevet inkluderet i denne analyse da der ikke har været et tilfredsstillende niveau af data til rådighed. Der kan med baggrund i de tilgængelige data beregnes både barrierevirkning og støj-niveau ved nærmeste facade eller støjniveauet i 10 m's afstand fra vejmidten. Der er på den anden side ikke nogen umiddelbar kobling til de socio-økonomiske data som har været til rådighed til denne analyse hvorfor det er valgt at udelade disse modeller.

Da hovedparten af de anvendte modeller er forholdsvis konventionelle vil disse ikke blive diskuteret videre. I forbindelse med emissionsberegningerne er det dog forsøgt at estimere eksponeringen af befolkningen i stedet for udelukkende at beregne de totale emissioner. Denne model er derfor gennemgået i nogen mere detalje nedenfor.

## Forureningseksponering med GIS

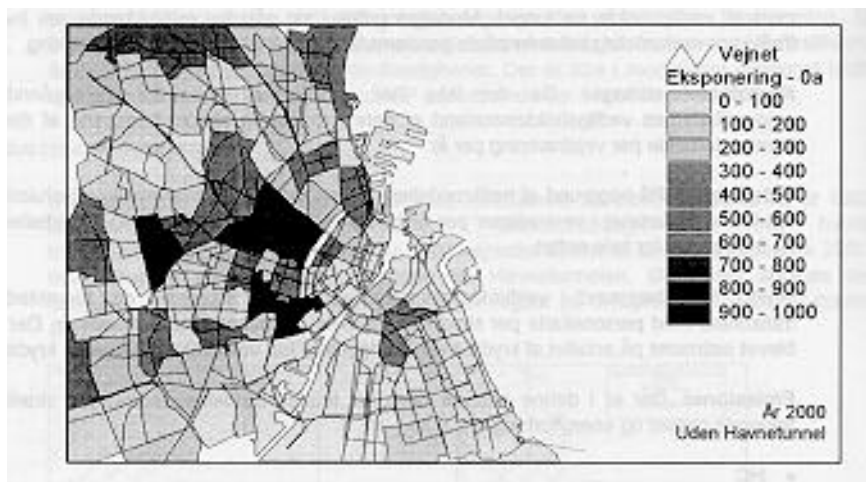
Ved analyse af de lokale miljøeffekters rumlige betydning, er geografiske informationssystemer et stærkt værktøj. Beregningerne af trafikens totale emissioner per

strækning er baseret på en hastighedsafhængig faktormodel for NO<sub>x</sub>, CO, HC og energiforbruget.

Eksponering opfattes i denne sammenhæng som mængden af emitterede gasser et individ udsættes for over en given periode. I denne analyse beregnes eksponeringen af befolkningen zonevis per år som:

$$\text{Eq.1 Eksponering} = \frac{\text{Emission [kg/år]}}{\text{km}^2} * \text{befolkningen}$$

Eksponeringen i det centrale København er illustreret nedenfor i figur 2.



figur 2 Illustration af eksponeringen i København i hht. planforudsætninger for år 2000 uden Havn tunnel. Eksponeringen ses at være størst på indre og ydre Nørrebro samt Nord-vest kvarteret, Frederiksberg og Vesterbro. Eksponeringen ses at være mindre i det centrale København da antallet af fastboende i Københavns centrum er relativt mindre.

Denne anvendte metode og definition er dog ikke uden problemer. Der kan opstå grænseværdiproblemer i modellen mht. til den relative placering af vejstrækninger i forhold til zonegrænser. Er en vej placeret meget tæt på en zone grænse vil en fejlestimation opstå da kun zonen der indeholder vejen beregnes som modtager af emissionerne.

Yderligere er befolkningen som mål for antallet af eksponerede ikke uproblematisk. Antallet af arbejdspladser og rejsemønstret bør i et eller andet omfang inddrages. Eksponering for trafikens giftige gasser er mest udpræget ved transport (specielt på cykel) og ophold på trafikerede gader. Samtidig forekommer langtidspåvirkningen ikke nødvendigvis i hjemmet men muligvis på arbejdet. Befolkningen kunne dog siges at være en proxy for antallet af personer der opholder sig på en zones trafikerede gader. I analyserne er befolkningen anvendt som variabel.

Resultater

Ændringerne i konsekvenserne som følge af projekterne 2c, 2d, 4a & 4b i forhold til 'do-minimum' udgangspunktet 0a for hhv. 1992 & 2000 ses nedenfor:

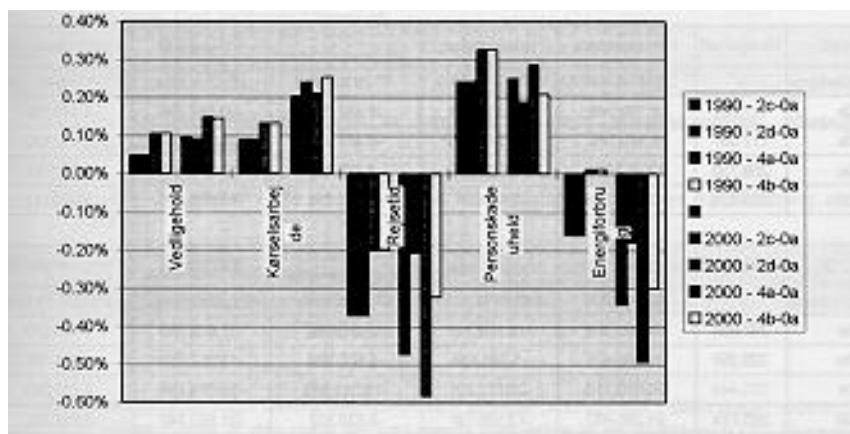
1992	Vedligehold	Kørselsarbejde	Arbejdsrejser	Bolig-arbejdsrejser	Fritidsrejser	Personskade- uheld	Energiforbrug
Enhed	kr/år	km/år	persontimer/år	persontimer/år	persontimer/år	-	MWh/år
2c-0a	117.061	9.500.169	-86.267	-222.955	-904.392	3.8	-38.773
2d-0a	117.061	9.500.169	-86.267	-222.955	-904.392	3.8	-38.773
4a-0a	299.720	14.150.307	-45.718	-118.157	-479.289	5.1	2.806
4b-0a	299.720	14.150.307	-45.718	-118.157	-479.289	5.1	2.806

2000	Vedligehold	Kørselsarbejde	Arbejdsrejser	Bolig-arbejdsrejser	Fritidsrejser	Personskade- uheld	Energiforbrug
Enhed	kr/år	km/år	persontimer/år	persontimer/år	persontimer/år	-	MWh/år
2c-0a	247.555	22.048.147	-132.982	-343.689	-1.394.135	4.0	-90.348
2d-0a	229.251	26.145.995	-57.802	-149.358	-605.975	3.0	-46.581
4a-0a	375.444	22.752.625	-163.804	-423.347	-1.717.260	4.6	-130.284
4b-0a	365.124	27.997.139	-90.307	-233.317	-948.424	3.3	-78.804

Tabel 1 Ændringer i effekterne i forhold til udgangspunktet for de analyserede projekter for Havnetunnelens udbygning under Københavns havn. Projekterne 2c & 2d samt 4a & 4b er ens i for beregningerne for 1992.

Som det fremgår af den grafiske præsentation af resultaterne i figur 3, forekommer det at besparelserne på Havnetunnelprojektet kombineret med Lossepladsvej (4a) forbedres med tiden som følge af Ørestadens udbygning og den generelle trafikvækst. Dette er i tråd med Transportrådets analyse, hvor det konkluderes at Lossepladsvej vil få en mere betydende funktion med tiden.



Figur3 Illustration af den procentuelle ændring i de modellerede Konsekvenser for begge projekter med og uden trafiksanering i det centrale København.

Samtidig fremgår det at Havnetunnelen vil have en 'lettende' effekt på trafikken i København. Tidsbesparelserne er udtryk for dels at nogle trafikanter har en kortere køreafstand, men også at rejsehastigheden stiger. Dette kommer også til udtryk i det faldende energiforbrug og dermed de faldende emissioner.

Som det også fremgår vil over 40% af de rejsetidsbesparelserne der opnås som følge af investeringen i Havnetunnelen mistes igen ved en trafiksanering i København. Dette skyldes hovedsageligt rejsehastighedsreduktioner, idet det samlede kørselsarbejde kun øges ca. 0,04%. Hastighedsreduktionerne er størst på radialvejene mod den indre by hvor eksempelvis Nørregades gennemsnitshastighed falder ca. 5% og Torvegades falder ca. 13%. Dette opleves i mindre grad i Havnetunnelen hvor hastigheden falder med ca. 3%. Som følge heraf ses at det samlede energiforbrug stiger med ca. 0,2%. De ekstra emissioner forekommer dog ikke i det centrale København, men derimod på bro-kvartererne og Frederiksberg hvor eksponeringen allerede er højest (se figur 1).

### En skitseret samfundsøkonomisk analyse

I dette afsnit opstilles en meget oversigtlig samfundsøkonomisk beregning, som skal tages med forbehold for de manglende beregninger af eks. støj, barriereeffekt, krydsuheld som der er redegjort for. Yderligere skal det bemærkes at der i beregningerne som nævnt ikke er indregnet nytteændringer for lastbiltrafikken, samt at der ikke er indregnet betydningen af den kollektive trafik.

Der findes ikke umiddelbart tilgængelige samfundsøkonomiske enhedspriser for eksponering, sådan som er skitseret her. Traditionelt beregnes i Danmark luftforureningsomkostningerne proportionale med kørselsarbejdet. I dette tilfælde er den metode dog ikke anbefalelsesværdig da det netop fremgår at emissionerne og kørselsarbejdet i dette tilfælde er omvendt proportionale. Der er således ikke taget hensyn til forureningsomkostningerne.

At der på dette grundlag alligevel opstilles en skitse til en samfundsøkonomisk beregning er for at tilbyde nogle foreløbige estimater på den samfundsmæssige nytte af Havnetunnelprojektet. Netop i sammenhænge hvor konsekvensernes udvikling ikke er entydig, kompliceres den rent deskriptive evaluering. Som det fremgår af analysen tyder beregningerne på at kørselsarbejdet vil stige samtidig med at rejsetiden falder, samt at antallet af personskadeuheld vil stige samtidig med at energiforbruget (og dermed luftforureningen) falder.

1992	Vedligehold	Kørselsarbejde	Arbejdsrejser	Bolig-arbejdslederejser	Fritidsrejser	Personskadeuheld
Enhedspris	-	0,88 Kr./km	145,13 Kr./time	37,86 Kr./time	22,72 Kr./time	1.181.000 Kr./uheld
2c-0a	117.061	8.360.148	-12.519.975	-8.441.075	-20.547.795	4.442.580
2d-0a	117.061	8.360.148	-12.519.975	-8.441.075	-20.547.795	4.442.580
4a-0a	259.720	12.452.270	-6.635.047	-4.473.406	-10.889.445	5.970.711
4b-0a	259.720	12.452.270	-6.635.047	-4.473.406	-10.889.445	5.970.711

2000	Vedligehold	Kørselsarbejde	Arbejdsrejser	Bolig-arbejdslederejser	Fritidsrejser	Personskadeuheld
Enhedspris	-	0,88 Kr./km	145,13 Kr./time	37,86 Kr./time	22,72 Kr./time	1.181.000 Kr./uheld
2c-0a	247.555	19.402.369	-19.299.741	-13.012.052	-31.674.753	4.703.273
2d-0a	229.251	23.008.475	-8.368.834	-5.655.824	-13.767.763	3.951.161
4a-0a	375.444	20.022.310	-23.772.921	-16.027.908	-39.016.138	5.985.289
4b-0a	365.124	24.285.482	-13.106.191	-8.633.371	-21.502.747	3.915.381

Tabel 2 Oversigt over den samfundsmæssige nytte i kroner per år for de to projekter hhv. med og uden en trafiksanering af det centrale København. Enhedspriserne er 1994 priser fra foruden uheldsomkostningen som er i 1992 priser, men antages uændret. Vedligeholdelses-omkostningerne er i 1985 priser og er ikke opregnet til 1994 priser.

De anvendte enhedspriser er Vejdirektoratets midlertidige priser for 1994. Ide uheldsomkostningen for personskadeuheld i 1994 priser ikke er tilgængelig, anvendes 199 prisen. Den samfundsøkonomiske analyse inkluderer således ikke nogen værdisætning af de lokale miljøeffekter.

Vedligeholdelsessomkostningerne dækker udelukkende over omkostningerne for det eksisterende net og ikke for vedligehold af selve tunnelen. I henhold til Transportrådets rapport om Havnetunnelprojektet er vedligeholdelses-omkostningerne for havnetunnelen estimeret til imellem 10 og 20 millioner kroner per år. Anlægsomkostningerne er estimeret til 1,0 - 1,8 milliarder for selve tunnelen samt 1,1 - 1,7 milliarder for tilslutningsanlæg. Anlægsomkostningerne for tilslutnings-anlæggene inkluderer Losseplads vej der indgår i projekt 4a & 4b.

Nytte (Kr./år)	2c	2d	4a	4b
1992	28.589.057	28.589.057	3.315.196	3.315.196
2000	39.633.348	1.023.534	53.033.925	14.876.321

Tabel 3 Beregning af en del af den samfundsøkonomiske nytte af Havnetunnelprojektet, uden fradrag for tunnelens vedligeholdelsessomkostninger.

Antages det at vedligeholdelsessomkostningerne for tunnelen er i størrelsesordenen 20 millioner kroner per år fås følgende værdier; Tabel 4 Beregning af en del af den samfundsøkonomiske nytte af Havnetunnelprojektet, med fradrag for tunnelens vedligeholdelsessomkostninger.

Disse meget foreløbige analyser giver således et noget uklart billede af investeringen i en Havnetunnel. Dog indikerer tallene at:

Tilslutningsanlæggets linieføring på Amagersiden bør overvejes nøje  
Den samfundsmæssige nytte af tunnelen og dens tilslutningsanlæg afhænger af åbningstidspunktet.



En stor del af den nytte der opnås ved Havnetunnelen stammer fra aflastning af andre veje.

Havnetunnelen er følsom over for den endelige udformning af en trafiksanering af det centrale København.

## Konklusion

Den oversigtsmæssige samfundsøkonomiske analyse præsenteret i dette paper videregiver et noget uklart billede af den nytte der kan opnås som følge af en investering i en Havnetunnel. Der er således behov for mere detaljerede analyser, specielt af de lokale miljøeffekter som det tyder på vil øge den samfundsmæssige nytte af investeringen. Specielt bør der gennemføres analyser af udbygningshastigheden for tunnel og tilslutningsanlæg, samt udvides med udbygningsalternativer på Amager siden.

Analysen bør udvides med konsekvenserne på den kollektive trafik, således at analysen får et multi-modalt sigte.

Trafikudlægning på turformål vil være ønskværdig da det ville raffinere rejsetidsanalysen. Herudover bør der med baggrund i de allerede fundne resultater gennemføres en robusthedsanalyse, eventuelt udvidet med scenario analyser.

For at kunne drage nytte af de analyseværktøjer præsenteret i dette paper er det ligeledes nødvendigt at få estimeret nye enhedspriser for specielt luftforureningen, specielt da den eksisterende tilgang kan være misvisende i tilfælde hvor der er kapacitetsproblemer i vejnettet.

Traditionelt inkluderes i Danmark kun traditionelle samfundsøkonomisk relaterede konsekvenser. Med den forskning og udvikling der i de senere år er foregået på europæisk plan på projektevalueringsområdet, bør de nye anbefalinger og erfaringer inddrages for at få udvidet perspektivet på projektevalueringen.

Som kommentar til den strategiske fordel visse jordbesiddere i området vil kunne opleve i form af en betydelig værdistigning af deres jord samt kunne drage produktionsmæssig fordel af tunnelen. Det forekommer oplagt at bruge geografiske informationssystemer som værktøj til sådanne arealanvendelsesorienterede analyser.

Det ville yderligere være relevant at inddrage en mulig brugerbetaling i tunnelen i de samfundsøkonomiske analyser.

Som sidste punkt bør nævnes at problemstillingens kompleksitet taget i betragtning er det nødvendigt at tage et helhedssyn på trafikale tiltag i København. Det synes illustreret at ensidig lokal fokus og kortsigtede overvejelser kan føre til uheldige resultater.

## Litteratur.

Transportrådet (1997), "Havnetunnel i København - vurderinger og hovedspørgsmål", Rapport nr. 97-03, marts 1997.

Vejdirektoratet (1994), "Trafikøkonomiske enhedspriser 1992",  
Sektorplanafdelingen, januar 1994